

зависимостей видно, что влияние температуры и скорости деформации на механические свойства конкретных сталей может не во всем соответствовать общим классическим представлениям. При пониженной температуре и повышенной скорости деформации стали 09Г2С имеют место процессы пластического деформирования.

В перспективе целесообразно уточнить влияние на механические свойства стали 09Г2С более высоких скоростей деформации.

**Список литературы:** 1. Давиденков Н.Н. Некоторые проблемы механики материалов / Н.Н.Давиденков. – Л.: Газетно-журн. и книж. изд-во, 1943. – 152 с. 2. Тимошук Л.Т. Механические испытания металлов / Л.Т.Тимошук. – М.: Металлургия, 1971. – 224 с. 3. Золоторевский В.С. Механические свойства металлов / В.С.Золоторевский. – М.: Металлургия, 1983. – 352 с. 4. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С.Писаренко, А.П.Яковлев, В.В.Матвеев. – Киев: Наук. думка, 1988. – 736 с. 5. Рудаков А.А. Температурно-скоростная зависимость механических свойств метастабильной стали 0Х14АГ12М в состоянии закалки и теплового наклепа / А.А.Рудаков, И.Н.Богачев // Вопросы металловедения стали и титановых сплавов: Межвуз. сб. научн. тр. – Пермь: Пермский унив-т, 1978. – С.70-75. 6. Махутов Н.А. Оценка состояния материала продуктопровода после его длительной эксплуатации / Н.А.Махутов, В.Н.Пермяков, Ю.А.Кравцова, Л.Р.Ботвина // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – Т.73. – 2007. – №2. – С.54-59. 7. Беликов С.Б. Характеристики сопротивления ударному изгибу пластичных сталей, применяемых в краностроении / С.Б.Беликов, С.Л.Рягин, В.Г.Шевченко // Вісник НТУ «ХПІ»: 36. наук. пр. Тематичний випуск: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2011. – №47. – С.125-133.

Надійшла до редколегії 28.10.2013

УДК 620.172

**Влияние температуры и скорости деформации на механические свойства сталей, применяемых в краностроении** // Беликов С.Б., Шевченко В.Г., Рягин С.Л. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 43 (1016) .– С. 32–36. Бібліогр.: 2 назв.

Експериментально вивчений вплив температури та швидкості деформації на механічні властивості сталі 09Г2С. Показано, що вплив температури та швидкості деформації на механічні властивості конкретних сталей може не відповідати класичним уявленням. Пластичне деформування відбувається і при низькій температурі.

**Ключові слова:** температура, швидкість деформації, механічні властивості.

Influence of a temperature and deformation speed on mechanical characteristics of 09Г2С steel had been studied. It was shown that influence of the temperature and deformation speed on mechanical characteristics of specific steels can differ from classical ideas. Plastic deformation take place at low temperature as well.

**Keywords:** temperature, deformation speed, mechanical characteristics.

УДК 621.771.01

**М. М. БЕРЕЖНИЙ**, докт.техн.наук, проф., ДВНЗ «КНУ», Кривий Ріг;  
**В. А. ЧУБЕНКО**, канд.техн.наук, доц., ДВНЗ «КНУ», Кривий Ріг;  
**А. А. ХІНОЦЬКА**, ст. викладач, ДВНЗ «КНУ», Кривий Ріг;  
**А. ШЕПЕЛЬ**, аспірант, ДВНЗ «КНУ», Кривий Ріг;  
**В. ЧУБЕНКО**, студент, ДВНЗ «КНУ», Кривий Ріг.

## **ВЗАЄМОДІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ В ОСЕРЕДКУ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ СТАЛОМУ ПРОЦЕСІ ПРОКАТУВАННЯ**

Розглянуто осередок деформації при сталому процесі прокатування, виконано співставлення деформуючих напружень і сил опору в'язкості течії в осередку деформації, визначено середні значення границь текучості при різних режимах прокатування, розраховано швидкість деформації в

обтисненні, уширенні та подовженні. Визначено, що збільшення швидкостей деформації в уширення і подовження приведе до збільшення границі текучості. Але підвищення швидкості прокатування, дозволяє зменшити час перебування металу в осередку деформації що, в свою чергу дає можливість збільшити продуктивність процесу.

**Ключові слова:** осередок деформації, швидкість, границя текучості, температура, обтиснення, уширення, подовження, штаба, зміцнення металу, прокатування, поверхня валків.

**Вступ.** При прокатуванні утворюється осередок деформації між прокатними валками, де відбуваються складні процеси, що викликають зміну форми та розмірів розкату, а також внутрішніх властивостей металу. Дуже багато дослідників вивчало внутрішні зміни осередку деформації при обробці тиском тому, що від цього залежить якість отриманого виробу, витрати зусиль та енергії на прокатування, продуктивність процесу. Тому визначити середні значення границь текучості при різних режимах прокатування та швидкість деформації в обтисненні, уширенні та подовженні є задача актуальна, що дозволить визначити раціональні режими прокатування.

**Аналіз останніх досліджень і літератури:** при наближеному описуванні процесу повздовжньої прокатки за осередок деформації приймають область, обмежену зверху і знизу дугами кіл валків АВ та А'В' та перерізами входу і виходу штаби з валків АА' і ВВ' рис. 3.1 [1]. Дослідниками уважно вивчається вплив технологічних параметрів на осередок деформації [1-4], де визначено вплив температури, обтиснення та швидкості деформації.

**Мета дослідження, постановка проблеми:** визначити середні значення границь текучості, швидкість деформації в обтисненні, уширенні та подовженні при різних режимах прокатування з метою встановлення раціональної швидкості прокатування, що дозволить підвищити продуктивність процесу.

**Матеріали досліджень.** Розглянемо сталий процес прокатування штаби. Це відбувається так: регулярно штаба сталі з перерізом  $h_0 \cdot b_0$  рівномірно входе в осередок деформації зі швидкістю  $v_0$  і відповідно виходе з нього з перерізом і швидкістю  $h_1 \cdot b_1 \cdot v_1$ : на вході метал має температуру середню рівномірно розподілену в об'ємі штаби  $t_0$ , а виходе з температурою  $t_1$ . Для того, щоб визначити  $t_1$  проаналізуємо процеси, які відбуваються в осередку деформації (рис.) [1].

Температура поверхні валків  $t_g$  може бути відрізнитися від вихідної температури штаби  $t_0$ ,  $t_g$  більша  $t_0$  при холодному прокатуванні, незважаючи на застосування мастильно-охолоджуючих рідин, бо валки працюють в контакті з осередком деформації, в якому температура металу значно вища температури штаби  $t_0$  [1, 2]. При гарячому прокатуванні середня температура валків  $t_{срв}$  менша температури  $t_g$  поверхні валків, бо вона охолоджується водою і в десятки разів більша контактної поверхні між осередком деформації та валками. Контактна поверхня осередку деформації має температуру контактної поверхні валків  $t_{кн1} = t_{кнв}$ . Це забезпечує сталість процесу прокатування за рахунок надійності зчеплення поверхні валків з поверхнею прокатуваного металу і здійснення всіх процесів в середині осередку деформації.

Під час сталого процесу прокатування відбувається деформація металу стисненням. Внаслідок цього вихідна границя текучості сталі, яка досягається після подолання границі її пружності, розпочинає безперервно зменшуватись відповідно підвищенню температури. Тому одразу після входу штаби в осередок деформації формується фізичний стан металу і його реологічні властивості перед витіканням в подовження та уширення, чим власне і закінчується перебування сталі в осередку деформації (рис. 1).

Раніше було отримано залежність границі текучості мало- і середньо вуглецевих сталей від температури в розмірності (МПа) [2]:

$$\sigma_m = 369,485 - 0,224 \cdot t, \quad (1)$$

Перевівши розмірність тиску в МПа в роботу деформації розмірністю (кДж/кг) отримаємо:

$$\sigma_m = 37,7 - 0,0228 \cdot t \text{ кДж/кг}, \quad (2)$$

$$\sigma_m = 37,7 - 0,0304 \cdot i_t \text{ кДж/кг}, \quad (3)$$

де  $t$  – температура;

$i_t$  – тепловміст сталі:

$$i_t = 0,75 \cdot t \text{ кДж/кг}. \quad (4)$$

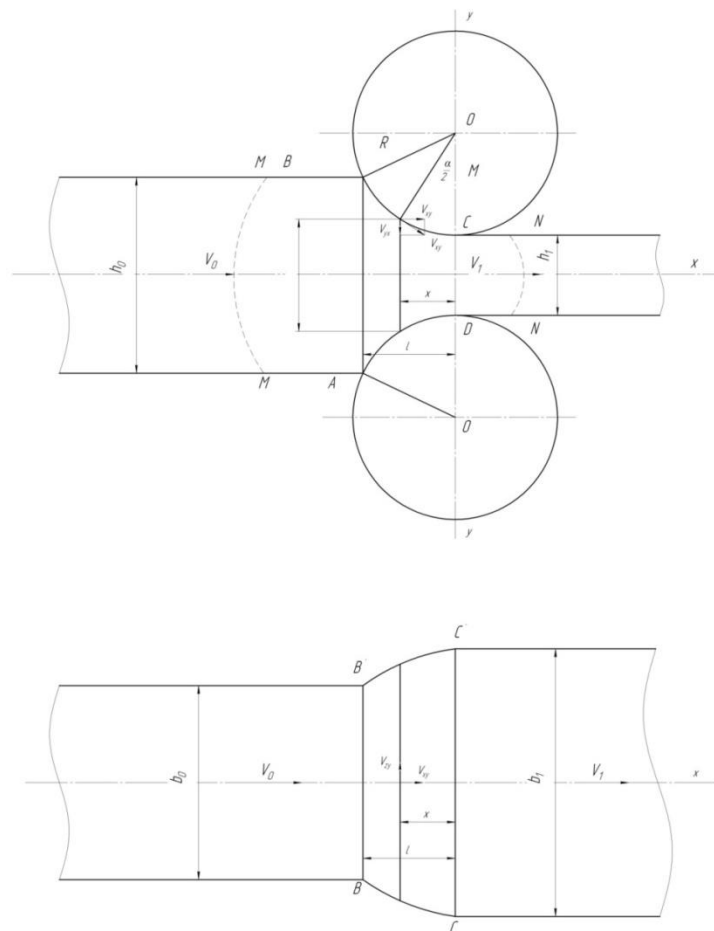


Рис. – Схема осередку деформації до розрахунку швидкості деформації

**Результати досліджень.** Одночасно зі зменшенням тиску в контактній поверхні між валками і поверхнею штаби в напрямку її прокатування від підвищення температури металу відбувається зміцнення металу внаслідок збільшення його деформації та наявності її швидкості в напрямках уширення і подовження. Тому метал в осередку деформації за розподілом сил в ньому почувається таким, якого розрізають поперек штаби дуже тупими предметами, тобто валками. Це обумовлює утворення фізичного осередку деформації обмеженого поверхнями ММ і NN (штрихові на рис. 1) [1]. Але не можна погодитись з формою поверхні ММ на рис. 3.1 (стор. 36 [1]): ця поверхня повинна бути випуклою в напрямку прокатування, бо зображення на рис. 3.1 суперечить наявності позаконтактної висотної утяжки заднього кінця штаби на рис. 3.4. (стор. 48 [1]) та рис. 6.2 (стор. 134 [1]) і рис. 6.5 (стор. 138 [1]). Не зважаючи на максимальність підпираючої сили тиску в перерізі ММ, в цьому перерізі границя текучості також максимальна, а  $\vartheta_1 - \vartheta_0 = \Delta\vartheta = 0$ . Тільки на певній відстані від перерізу ММ зрівнюються підпираюча сила, яка створена вертикальним тиском валків, з підпираючим опором течії металу в уширення і подовження, тобто коли границя текучості сталі зрівнюється з в'язкістю її, обумовленою ступенем і швидкістю деформації і температурою:

$$\sigma_{m \leq 0,2} = 0,346 \cdot \varepsilon + U \cdot 10^{(1,456 - 0,9 \lg U)} - 0,0232t, \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{m=0,3-0,7} &= 0,021 \cdot \varepsilon + U \cdot 10^{(1,58 - 0,9 \lg U)} - 0,0307t \\ 0,0232t &= 0,346 \cdot \varepsilon + U \cdot 10^{(1,456 - 0,9 \lg U)}, \\ 0,0307t &= 0,021 \cdot \varepsilon + U \cdot 10^{(1,58 - 0,9 \lg U)}, \end{aligned} \quad (6)$$

де  $\sigma_m$  – границя течії металу, кДж/кг;

$\varepsilon$  – відносне обтиснення, %;

$U$  – швидкість деформації.

Результати розрахунків наведено в табл. 1. Нагадаємо, що збільшення температури сталі призведе до зменшення границі текучості, яка наближається до границі текучості, викликаній зміною швидкості деформації: факти, що границі текучості найбільші при холодній прокатці (50-100°C), менші при теплому прокатуванні (50-900°C) і найменші при гарячій прокатці (1100-1300°C) (табл. 2).

Таблиця 1. Співставлення деформуючих напружень і сил опору в'язкості течії в осередку деформації за рівняннями (6)

№№ режи- мів [2]	$t$ , °C	$\sigma_m^t$ , кДж/кг	$\varepsilon$ , %	$U$ , с <sup>-1</sup>	$\sigma_{m\varepsilon}$ , кДж/кг	$\sigma_{mU}$ , кДж/кг	$\sigma_{m\varepsilon} + \sigma_{mU}$
1	50	1,16	16,8	$1,3 \cdot 10^6$	2,768	155,2	158,66
2	100	2,32	11,66	$0,16 \cdot 10^6$	4,152	129,1	133,252
3	700	16,24	20,36	52,80	6,652	55,2	61,852
4	1100	33,77	24,22	21,02	0,68	38,0	38,68
5	1200	27,84	31,82	11,583	3,0	45,1	48,1
6	1300	39,91	42,60	5,735	1,26	22,2	23,46

Таблиця 2. Середні значення границь текучості при різних режимах прокатування

Режим прокатування	$\sigma_m^t$	$\sigma_m^e$	$\sigma_m^U$	$\sigma_m^e + \sigma_m^U$
Холодний (50-100°C)	1,74	3,46	140	143,46
Теплий (500-900°C)	9,5	5,6	61,03	66,63
Гарячий (1100-1300°C)	33,84	1,65	35,1	36,66

Найменше впливає на границю текучості при всіх режимах прокатування ступінь деформації в межах її зміни до 60%.

Розділивши шляхи деформації відповідно на  $h_0$ ,  $l_1$  та час перебування  $\tau$  отримаємо швидкість деформації в обтисненні та подовженні (табл. 3).

Відмінність швидкостей деформації металу за напрямками полягає не тільки в їх величині (табл. 3), але й тому, що в обтисненні швидкість змінюється від максимального значення до мінімального на шляху деформації, а в уширенні та подовженні це відбувається навпаки – від нуля до максимального значення.

Наслідком охарактеризованої відмінності швидкостей деформації за напрямками – є наявність на виході з осередку деформації в розкаті площі  $b_0 h_1 \geq b_0 h_0 - b_1 h_1$ , яка по висоті має ступінь деформації змінну, від поверхні до осі вона зменшується. Для зменшення цієї нерівномірності розроблена рекомендація збільшення величини обтиснення та зменшення кількості проходів заготовки [3]. Площа  $b_0 h_1$  дорівнює різниці площ заготовки і розкату  $b_0 h_0 - b_1 h_1$ , коли подовженням металу в осередку можна зневажати. При прокатуванні в калібрах можна очевидно зневажати  $\Delta b$ , тобто уширенням.

Таблиця 3. Швидкість деформації в обтисненні, уширенні та подовженні в  $\text{с}^{-1}$ 

№ ре- жи- мів [2]	$2R_b$ , мм	$h_0$ , мм	$\alpha_y$ , град	$u_h$ , $\text{с}^{-1}$	$\frac{R_b}{l_1}$	$\tau$ , с	$u_l$ , $\text{с}^{-1}$	$u_b$ , $\text{с}^{-1}$
1	120	2	2,4	814154	58,25	$0,13 \cdot 10^{-6}$	18812231	761568,5
2	200	5	6,0	594406,6	96,154	$0,718 \cdot 10^{-6}$	1373626,6	26923
3	400	100	11,54	51,483	193,24	$3857 \cdot 10^{-6}$	10020,1	11,67
4	600	200	18,5	26,223	294,26	$11520,6 \cdot 10^{-6}$	8104,55	7,552
5	800	300	22,3	13,968	390,62	$27578,7 \cdot 10^{-6}$	5382,3	4,64
6	1000	500	26	5,166	468,6	$74248,5 \cdot 10^{-6}$	2764,3	1,122

**Висновки:** визначення середніх значень границь текучості при різних режимах прокатування та швидкості деформації в обтисненні, уширенні та подовженні нам дозволило визначити, яким чином змінюється опір деформації при сталому прокатуванні. Отримані дані дозволяють підвищити швидкість обробки, тобто зменшити час перебування металу в осередку деформації, а це дає можливість знизити витрати енергії і збільшити продуктивність процесу.

**Список літератури:** 1. Василев Я.Д. Теорія подовжньої прокатки / Я.Д. Василев, О.А. Мінаєв. – Підручник. – Донецьк: УНІТЕХ, 2009. – 488 с. 2. Бережний М. М. Енергетичний баланс і реологічні властивості металу в осередку деформації при подовжньому прокатуванні прямокутної штаби гладкими валками/ Бережний М. М., Чубенко В. А., Хіноцька А. А. – Монографія – Кривий Ріг,

Діоніс, 2011. – 125 с. 3. *Сторожев М.В.* Теория обработки металлов давлением / М.В.Сторожев, Е.А.Попов. – Уч-к для вузов., 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1971. – 424 с. 4. *Левченко Г.В.* Влияние режимов деформации слитка на трансформацию дендритной структуры в заготовках/Г.В.Левченко, С.В. Ершов, Е.Г.Демина и др.//Обработка металлов давлением. – 2008. – №1(19). – С. 135 – 140.

*Надійшла до редколегії 25.10.2013*

УДК 621.771.01

**Взаємодія технологічних параметрів в осередку деформації при сталому процесі прокатування / Бережний М. М., Чубенко В. А., Хіноцька А. А., Шепель А., Чубенко В. // Вісник НТУ «ХПІ».** Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 43 (1016). С. 36–41. Бібліогр.: 4 назви.

Рассмотрен очаг деформации при установившемся процессе прокатывания, сопоставлены деформирующие напряжения и силы сопротивления вязкости течения в очаге деформации, определены средние значения границ текучести при разных режимах прокатывания, рассчитано скорость деформации в обжатии, уширении и удлинении. Определено, что увеличение скоростей деформации в уширение и удлинение приводит к увеличению границы текучести. Но повышение скорости прокатывания уменьшает время пребывания металла в очаге деформации, что в свою очередь дает возможность увеличить производительность процесса.

**Ключевые слова:** очаг деформации, скорость, граница течения, температура, обжатие, уширение, удлинение, полоса, упрочнение металла, прокатывание, поверхность валков.

the center of the strain was at the established process of rolling was considered, deforming voltage and resistance force viscosity flow in the deformation were compared and the mean values of the borders of fluidity at a different modes rolling, calculated rate of strain in compression, widening and lengthening was calculated. It was determined that the increase in the strain velocity in broadening and elongation leads to increased border flow, which causes the necessity to increase the speed of rolling, which in turn helps to increase the productivity of the process.

**Keywords:** center of the strain, speed, boundary currents, temperature, compression, broadening, extension, band, hardening of metal rolling, surface rolls.

УДК 669:621.967.1

**П. В. БОРОВИК**, канд. техн. наук, докторант, ДГМА, Краматорск;  
**М. Е. СЕЛЕЗНЁВ**, аспирант, ДонГТУ, Алчевск.

## **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ ЗА СЧЁТ ПРИМЕНЕНИЯ ШЕВРОННОГО НОЖА НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ**

В статье рассмотрена новая конструкция шевронного ножа для поперечной резки толстых листов. На базе результатов конечно-элементного моделирования, проведен сравнительный анализ качества листа для случаев поперечной резки шевронными ножами классической и предложенной конструкции. За показатель при этом принималось максимальное отклонение от плоскостности. Также получено выражение для определения данной величины в зависимости от ширины листа и предела прочности разделяемого материала при применении шевронного ножа новой конструкции.

**Ключевые слова:** шевронный нож, резка, лист, дефект, качество, моделирование.

**Введение.** Горячекатаный толстый лист занимает значительную нишу среди продукции металлопрокатного производства вследствие своего широкого применения в различных областях машиностроения.

Особенностью технологического процесса производства толстого листа является наличие операции поперечной резки, предназначенной для